

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. März 2004 (11.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/021057 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G02B 6/14

FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54,
80636 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002689

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. August 2003 (06.08.2003)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MÖRL, Ludwig
[DE/DE]; Geisbergstr. 40, 10777 Berlin (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 36 800.7 8. August 2002 (08.08.2002) DE

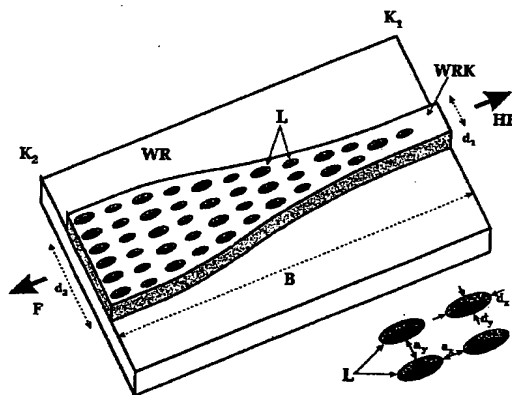
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Aus-
nahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT
ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INTEGRATEABLE MODE TRANSFORMER FOR RIB WAVE GUIDES

(54) Bezeichnung: INTEGRIERBARER MODENTRANSFORMATOR FÜR OPTISCHE RIPPENWELLENLEITER



(57) Abstract: The invention relates to a mode transformer which can be integrated into wave-guides provided with dielectric ribs. The coupling of wave guides of different types results in more or less important losses. Said coupling losses can be reduced by adapting the mode of one wave guide to the mode of another wave guide with the aid of a mode transformer. The production of all known mode transformers is very costly or requires the use of several special layers which make impossible the integration of components. The inventive mode transformer comprises a defined area in which a rib wave-guide is modified by the partial elimination of material by etching. The inventive method consists in forming holes or cracks which are filled with air or other substance having a lower internal diffraction factor. The effective diffraction factor of the rib of the wave-guide decreases in said area, thereby decreasing the wave mode guidance in the direction towards the coupling plane. The wave mode on the coupling plane can be adapted in a targeted manner to certain requirements, for example to the intensity distribution of a fibre. The essential advantage of said invention lies in that the mode transformer can be made exclusively from a set of already existing wave guiding layers and the production thereof does not require a particular etching process.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Modentransformator, der sich mit dielektrischen Rippenwellenleitern integrieren lässt. Werden optische Wellenleiter unterschiedlicher Art miteinander gekoppelt, führt dies zu mehr oder weniger großen Verlusten. Diese Koppelverluste können reduziert werden, wenn die Mode eines Wellenleiters mit Hilfe eines Modentransformators an

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/021057 A1

BEST AVAILABLE COPY



(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW); eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

die Mode des anderen Wellenleiters angeglichen wird. Alle bisher bekannten Modentransformatoren lassen sich entweder nur technologisch aufwendig herstellen oder benötigen spezielle Schichtenfolgen, die eine Bauelement-Integration unmöglich machen. Der erfindungsgemäße Modentransformator weist einen definierten Bereich auf, in dem die Schichtenfolge des Rippenwellenleiters durch partielles Wegätzen modifiziert wird. Es entstehen Löcher bzw. Schlitze im Dielektrikum, die mit Luft oder einem anderen Material mit einem niedrigeren Brechungsindex gefüllt sind. In diesem Bereich nimmt die effektiv wirksame Brechzahl der Wellenleiterrippe und damit auch die Führung der Mode im Wellenleiter in Richtung zur Koppelebene ab. Dadurch kann die Mode in der Koppelebene gezielt an die Erfordernisse, z.B. an die Intensitätsverteilung einer Faser angepasst werden. Der wesentliche Vorteil der Erfindung besteht darin, dass der Modentransformator ausschließlich aus dem ohnehin vorhandenen Wellenleiter-Schichtpaket aufgebaut werden kann und keine besonderen Ätzverfahren erforderlich sind.

Bezeichnung**Integrierbarer Modentransformator für optische Rippenwellenleiter**5 Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Modentransformator, der sich mit dielektrischen Rippenwellenleitern integrieren lässt. Er ermöglicht die verlustarme und dejustagetolerante Kopplung dieses Rippenwellenleiters mit einem
10 dielektrischen Wellenleiter, der eine andersgeartete Intensitätsverteilung aufweist, insbesondere mit einer Faser.

Beim optischen Rippenwellenleiter besteht der Wellenleiterkern aus einer Schicht eines Dielektrikums, die auf einer Trägerschicht aufgebracht ist und
15 deren Ausdehnung vertikal sehr viel kleiner ist als lateral. Sie kann mit einer ebenfalls dünnen Schicht anderen Materials ganzflächig abgedeckt sein. Der Brechungsindex des Wellenleiterkerns ist höher als der der Umgebung, daraus ergibt sich die Führung in der Vertikalen (senkrecht zu den Schichtebenen). Lateral (parallel zu den Schichtebenen gesehen) wird die
20 Führung erzeugt durch einen zusätzlich aufgesetzten, schmalen, dielektrischen Streifen, eine sog. Rippe. Die geführten Moden weisen eine Intensitätsverteilung auf, die bestimmt wird durch die Brechungsindizes der verwendeten Materialien und ihre räumliche Anordnung (Schichtdicken, Rippenhöhe und -breite), wobei im Prinzip alle diese Parameter sowohl das
25 vertikale als auch das laterale Intensitätsprofil beeinflussen. Genauer wird dies beschrieben von Michael Munowitz und David J. Vezzetti (M.M., D.J.V.: "Lateral Confinement in Generalized Strip-Loaded Optical Waveguides", J. Appl. Phys., 68, 5375-5377, 1990; M.M., D.J.V.: "Mode Structure and Lateral Confinement in Strip-Loaded Optical Waveguides: Effects of Asymmetric
30 Cladding", J. Lightwave Technol., 10, 426-431, 1992; D.J.V., M.M.: "Design of Strip-loaded Optical Waveguides for Low-Loss Coupling to Optical Fibers", J. Lightwave Technol., 10, 581-586, 1992). Für eine qualitative Diskussion der

Modenverteilung kann jedoch zunächst die vertikale Führung des zugehörigen Filmwellenleiters ohne Rippe betrachtet werden und aus dem Verlauf des vertikalen Intensitätsprofils in Richtung Rippe deren möglichen Einfluss abgeschätzt werden. Er wird umso geringer, je schwächer die laterale Führung relativ zur vertikalen ist, d.h. je größer der Abstand der Rippe zum Kern bzw. je dicker die Abdeckschicht ist und je kleiner die Höhe, Breite und der Brechungsindex der Rippe sind.

Werden optische Wellenleiter unterschiedlicher Art miteinander gekoppelt, führt die einfachste Lösung, die Stoßkopplung, zu mehr oder weniger großen Verlusten, je nachdem wie stark sich die Wellenleiter-Moden unterscheiden. Denn in der Regel besitzen die beiden miteinander zu koppelnden Wellenleiter Strukturen, die sich in der Geometrie und in der Materialzusammensetzung, also dem Brechzahlprofil unterscheiden. Diese Koppelverluste können vermieden werden, wenn die Wellenleiter-Kopplung mit Hilfe eines Modentransformators eingerichtet werden kann, der die Mode eines Wellenleiters zur Stoßstelle hin an die Mode des anderen Wellenleiters angleicht.

Die Faser-Chip-Kopplung ist der wichtigste Spezialfall der Wellenleiter-Kopplung. Die Intensitätsverteilungen in einer optischen Faser und in optischen und opto-elektronischen Bauelementen auf Halbleiterbasis unterscheiden sich in der Regel drastisch. Die zirkularsymmetrische Struktur der Faser mit einer relativ niedrigen Brechzahldifferenz zwischen Kern und Mantel führt zu einem Lichtfleck mit einem Durchmesser von typischerweise 10 μm und derselben Symmetrie. Ganz anders sind die Verhältnisse im Wellenleiter von Lasern, Modulatoren, Detektoren etc. (z.B. auf der Basis von InP), sie erfordern eine Wellenleiter-Struktur, die zu einem kleinen Modendurchmesser mit z.T. stark asymmetrischer Intensitätsverteilung führt. Unter solchen Bedingungen ist eine simple Faser-Chip-Stoßkopplung nur mit hohen Verlusten möglich. Die konventionelle Lösung, die Modentransformation auf Seiten der Faser vorzunehmen (mit Linsen,

Fasertapern etc.), ist wegen der dabei gegebenen geringen Justagetoleranzen sehr aufwendig und relativ instabil. Die bessere Lösung ist, mit Hilfe eines auf dem Chip integrierten Modentransformators die Mode des (Halbleiter-)Wellenleiters aufzuweiten und zu symmetrisieren.

5

In der Literatur sind verschiedene Typen von integrierten Modentransformatoren beschrieben worden. Die weitaus meisten benutzen das Phänomen, dass die geführte Mode eines Wellenleiters sich ausdehnt, wenn eine Dimension des Wellenleiterkerns, seine Breite oder seine Dicke, oder beide ein gewisses Maß unterschreiten. Man spricht dann von einem lateralen oder Breiten-Taper bzw. einem vertikalen oder Dicken-Taper. Solche Strukturen herzustellen erfordert hohen technologischen Aufwand. Da die Wellenleiter-Kernschicht und damit die Brechzahl nicht verändert wird, müssen die Breite bzw. die Dicke am Ende des Modentransformators sehr klein werden. Bei lateralen Tapern kann die erforderliche Restbreite der Taperspitze so gering sein, dass sie nur mit einem erheblichen Aufwand reproduzierbar realisiert werden kann. Vertikale Taper sind nur mit speziellen subtraktiven Verfahren zu realisieren, da die mit konventioneller Lithographie herstellbaren Maskierungen i.a. nur einen lateralen Informationsübertrag erlauben. Die geringe Breite bzw. Dicke muss präzise eingestellt werden, da kleine Abweichungen schon zu deutlichen Veränderungen der Intensitätsverteilung führen.

In der DE 196 13 701 A1 wird ein Feldweitentransformator auf der Basis eines vertikalen Tapers beschrieben. Neben der allmählichen Reduzierung der Schichtdicke der Wellenleiter-Kernschicht sind als weiteres wesentliches Element unterhalb des Wellenleiters mehrere Pufferschichten angeordnet, die durch Leitschichten mit höherem Brechungsindex voneinander getrennt sind. Mit abnehmender Kernschichtdicke breitet sich die Mode aus und koppelt mit den Leitschichten, die eine weitere Ausdehnung der Moden begrenzen. Zusätzlich wird im Bereich der abgedünnten Kernschicht seitlich die oberste der Pufferschichten abgetragen, indem parallel zum Wellenleiter Gräben

30

geätzt werden. Dies verhindert die übermäßige laterale Ausdehnung der Mode.

Einen sehr ähnlichen Modentransformator beschreiben auch J. Stulemeijer et. al. in "InP-Based Spotsizer Converter for Integration with Switching Devices" (IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11 No. 1 January 1999). Ein speziell ausgewählter Rippenwellenleiter wird vertikal (mit Hilfe einer besonderen Ätztechnik) und lateral getapert, die entstehende aufgeweitete Mode wird von einer dreifachen Sequenz von Leit- und Pufferschichten (Gesamtdicke ca. 5 μm) aufgenommen.

In der US 5,703,895 wird ein Modentransformator beschrieben, bei dem statt eines stetig dünner werdenden Wellenleiterkerns eine stufenweise Entfernung der oberen Wellenleiterschichten eingesetzt wird, im Zusammenspiel mit Leitschichten und einer besonderen Gestaltung des Querschnitts des gesamten Wellenleiters im Bereich des Modentransformators.

P. V. Studenkov et. al. stellen in "Efficient Coupling in Integrated Twin-Waveguide Lasers Using Waveguide Tapers" (IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11 No. 9 September 1999) ein Modentransformator vor, der das Konzept des „Zwillings-Wellenleiters (Twin-Waveguide)“ in Kombination mit einem lateralen Taper benutzt. Das komplette Schichtpaket des Wellenleiters besteht oben aus einem aktiven und unten aus einem passiven Teil. Der aktive Teil enthält die laseraktiven Quanten-Well-Schichten und die InP-Deckschicht, der passive Teil eine quaternäre GaInAsP-Schicht. Der aktive Wellenleiter wird mit einem lateralen Taper bis auf eine Breite von 0,6 μm verjüngt, danach bleibt als Wellenleiter nur noch die passive Schicht übrig, auf ihr sitzt noch eine InP-Schicht mit Rippe, um die laterale Führung zu erzeugen. An diesen Wellenleiter wird eine Faser angekoppelt.

Bei allen bisher bekannten Typen müssen zur Optimierung der Modenverteilung in der Koppelebene zusätzliche Schichten (z.B.

Leitschichten) eingefügt werden bzw. es muss ein spezieller Wellenleiterkern verwendet werden. Dies kompliziert zumindest die Herstellung bzw. kann sogar in einigen Fällen die Bauelement-Integration unmöglich machen. Damit sind diese Typen nicht universell einsetzbar.

5

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Modentransformator anzugeben, der in der Koppelene eine Mode mit möglichst der erforderlichen Fleckgröße und -form erzeugt und somit geringe Kopplungsverluste verursacht. Er soll technologisch einfach und
10 reproduzierbar hergestellt werden können und in seiner Konfiguration möglichst flexibel sein, um verschiedene Wellenleiter aneinander anpassen zu können.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des unabhängigen
15 Patentanspruchs gelöst, indem der Rippenwellenleiter einen definierten Bereich aufweist, der der Koppelene zum anderen Wellenleiter vorgelagert ist und der den eigentlichen Modentransformator darstellt. In diesem Bereich wird die Schichtenfolge des Rippenwellenleiters durch partielles Wegätzen modifiziert. Dadurch entstehen Löcher im Dielektrikum, das dort durch Luft
20 oder auch ein anderes Material mit einem Brechungsindex, der niedriger als der des Wellenleiter-Materials ist, ersetzt wird. Räumlich gemittelt werden die Brechungsindizes in den Schichten mit Löchern gewissermaßen „verdünnt“.

Solange der Abstand der einzelnen Löcher untereinander und ihre lateralen
25 Abmessungen so gewählt werden, dass noch genügend große Bereiche der ursprünglichen Schichtenfolge in ausreichender Nähe zueinander vorhanden sind, wird die Mode wie mit einer kompakten Wellenleiterrippe geführt. Durch geeignet gewählte Werte für Größe, Form und Verteilung der einzelnen Löcher lässt sich die laterale und vertikale Führung der Mode im Wellenleiter
30 längs des Modentransformators gezielt einstellen und lokal variieren. In diesem Bereich nimmt die effektiv wirksame Brechzahl der Wellenleiterrippe und damit auch die Führung der Mode im Wellenleiter in Richtung zur

Koppelebene ab. In der Koppelebene ist die „Verdünnung“ am stärksten, die Verteilungsdichte der Löcher, d.h. ihre Zahl bzw. ihre Fläche pro Flächeneinheit ist dort am größten und die verbliebenen Reste nehmen dort also die geringste Fläche und/oder den größten Abstand zueinander ein.

- 5 Dadurch kann die Mode in der Koppelebene gezielt an die Erfordernisse, z.B. an die Intensitätsverteilung einer Faser angepasst werden.

Die „Verdünnung“ der Wellenleiterrippe kann auch nur in einer Dimension vorgenommen werden. Die kompakte Wellenleiterrippe wird dann durch parallel zur Ausbreitungsrichtung in die Rippe geätzte Schlitze unterteilt und
10 besteht in dem definierten Bereich des Modentransformators aus mehreren Wellenleiterteilrippen. Der Abstand der Wellenleiterteilrippen zueinander nimmt vom Wert 0 am Beginn des definierten Bereiches, wo eine kompakte Wellenleiterrippe vorliegt, in Richtung auf die Koppelebene zu, überschreitet aber ein bestimmtes Höchstmaß nicht. Durch die Wahl der Anzahl der
15 Wellenleiterteilrippen, deren Querschnitt und deren Abstand kann die Mode gezielt beeinflusst werden.

Die Modenführung kann außer durch eine Variierung der Verteilungsdichte der Löcher entlang des definierten Bereiches des Wellenleiters auch durch
20 die Tiefe der Löcher beeinflusst werden. Aufgrund der eingangs geschilderten Gegebenheiten kann es von Vorteil sein, nicht nur die Rippe zu verändern. Abhängig vom Aufbau, also von der Dicke und dem Brechungsindex der Kemschicht und einer ggf. vorhandenen Kemschichtabdeckung, müssen diese Löcher so tief geätzt werden, dass die Kemschichtabdeckung und
25 eventuell sogar ein Teil der Kemschicht entfernt werden, damit auch in der Vertikalen eine nennenswerte Aufweitung der Mode erreicht wird. Außerdem kann es zweckmäßig sein, die verbliebene Kemschicht lateral auf einen Streifen geeigneter Breite zu reduzieren bzw. seitlich tiefe Ätzgräben anzubringen.

30 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden.

Der wesentliche Vorteil der Erfindung besteht darin, dass der Modentransformator aufgebaut werden kann, ohne dass zusätzlich andere Materialien als das ohnehin vorhandene Wellenleiter-Schichtpaket verwendet werden müssen und ohne dass besondere Ätzverfahren erforderlich wären.

- 5 Der Modentransformator wird durch partielles Wegätzen des vorhandenen Schichtpakets hergestellt, deshalb bleibt bei der Herstellung der Vorteil der Rippenwellenleiter erhalten, dass das epitaktische Wachstum des gesamten Schichtpaketes ohne Unterbrechung in einem Schritt erfolgen kann. Die vorgeschlagenen Strukturen können einfach und reproduzierbar mit Hilfe von
- 10 herkömmlichen lithografischen Verfahren unter ausschließlicher Verwendung von lateralen Maskierungen und Ätztechniken hergestellt werden, die keine speziellen Dickenprofile liefern müssen. Die räumliche Entwicklung der Mode längs des Wellenleiters im Bereich des Modentransformators wird allein durch eine geeignete laterale Variation der Ätzmaske erzeugt.

- 15 Indem von der Oberfläche her in den Wellenleiter Löcher bzw. Schlitze geätzt werden, wird die Realisierung der Aufgabe begünstigt, die räumliche Entwicklung der Mode längs des Wellenleiters vom Halbleiterbauelement zur Koppelenebene den jeweiligen Anforderungen anzupassen, insbesondere eine
- 20 verlustarme adiabatische Aufweitung zu erzielen. Denn die Verteilungsdichte der Löcher bzw. der Schlitze und damit das effektive Brechzahlprofil des Wellenleiters kann längs des Modentransformators soweit variiert werden, dass die Modenverteilung die gewünschte Veränderung durchläuft. Da der effektiv wirksame Brechungsindex der Wellenleiterrippe durch die Anordnung
- 25 von Löchern bzw. die Aufteilung in Wellenleiterteilrippen reduziert wird, kann die Modenverteilung lateral dadurch aufgeweitet werden, dass die effektive Wellenleiter-Breite Werte annimmt, die bei kompakten Wellenleiterteilrippen aus demselben Material zu einer Mehrmodigkeit führen würde. Als zusätzliches Gestaltungselement können seitlich tief geätzte Gräben dienen, mit denen die
- 30 übermäßige laterale Ausdehnung der Mode verhindert werden kann.

Die Erfindung soll an den nachstehenden Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Die zugehörigen Figuren zeigen:

- 5 Fig. 1: Schematische Darstellung eines Wellenleiters, in dessen Rippe Löcher geätzt wurden;
- Fig. 2: Schematische Darstellung eines Wellenleiters mit zweifach geschlitzter Rippe;
- Fig. 3: Draufsicht auf eine Wellenleiterrippe bestehend aus fünf
- 10 Fig. 4: Räumliche Entwicklung der Intensitätsverteilung der Mode längs eines Modentransformators, dessen Rippe in drei Wellenleiterteilrippen aufgeteilt wird.

- 15 In der Fig. 1 ist der Aufbau eines Modentransformators für einen Rippen-Wellenleiter ohne Deckschicht schematisch dargestellt. Der besseren Übersichtlichkeit halber wird die Trägerschicht nicht dargestellt. In der Ebene K_1 schließt der kompakte Wellenleiter an, der durch das integrierte Halbleiterbauelement **HB** vorgegeben ist. In der Koppellebene K_2 erfolgt die
- 20 Kopplung an einen Wellenleiter mit schwächerer Führung, also ausgedehnterer Modenverteilung, z.B. an eine Faser **F**. Die Wellenleiterrippe **WR** besteht in einem definierten Bereich **B** aus dem gleichen Material bzw. dem gleichen Schichtpaket wie die kompakte Wellenleiterrippe **WRK**, es ist aber eine Anordnung von Löchern **L** hineingeätzt. Die Tiefe der Löcher **L** wird
- 25 je nach vorhandenem Schichtpaket so gewählt, dass die gewünschte laterale und vertikale Aufweitung der Mode eintritt. Die Löcher **L** können ggf. aufgefüllt werden, indem der gesamte Wellenleiter mit einer Deckschicht versehen wird, die eine Brechzahl n_D aufweist, die kleiner ist als die Brechzahl n_R der Rippe.
- 30 Die Verteilungsdichte, d. h. die Zahl und/oder die Fläche der Löcher **L** pro Flächeneinheit, variiert längs dieses definierten Bereichs **B**. Am Beginn des Bereichs **B**, also in der Ebene K_1 , sind keine Löcher **L** vorhanden, so dass eine kompakte Wellenleiterrippe **WRK** vorliegt. In Richtung auf die

- Koppelebene K_2 wird die Verteilungsdichte der Löcher L immer größer, d.h. die Abstände a_x und a_y der Löcher L werden immer kleiner und/oder die Dimensionen d_x und d_y der Löcher L immer größer. Der übriggebliebene Flächenanteil der ursprünglichen Rippe wird damit immer kleiner.
- 5 Außerdem wird die gesamte wirksame Breite d der Wellenleiterrippe WR vergrößert, indem die Breite der Wellenleiterrippe WR von der Anfangsbreite d_1 in der Ebene K_1 bis auf eine Breite d_2 in der Koppelebene K_2 zunimmt.
- Solange die lateralen Abmessungen d_x , d_y der einzelnen Löcher L ein Höchstmaß nicht überschreiten und die Abstände a_x , a_y ein Mindestmaß nicht
- 10 unterschreiten, wirkt die gesamte Anordnung der perforierten Rippe auf Grund der optischen Kopplung wie eine kompakte Wellenleiterrippe mit reduziertem Brechungsindex. Durch die gezielt eingestellte, sich im Bereich B ändernde Verteilungsdichte der Löcher L variiert die laterale und vertikale Führung entlang dieses Bereiches B von der Ebene K_1 bis zur Koppelebene K_2 . Dem
- 15 entsprechen unterschiedliche Feldverteilungen der Mode. Durch eine gezielte Wahl der Verteilungsdichte der Löcher L und ihrer Tiefe, der Länge des Bereiches B , der Anfangsbreite d_1 der Wellenleiterrippe WR und der Breite d_2 der Wellenleiterrippe WR in der Koppelebene K_2 kann eine optimale und adiabatische Anpassung zwischen dem Halbleiterbauelement HB und der
- 20 Faser F gewährleistet werden. Die Werte für die vorgenannten Größen können entweder numerisch nach bekannten Algorithmen bzw. empirisch in Abhängigkeit von der verwendeten Wellenlänge ermittelt werden.

- An Hand der Fig. 2 wird eine weitere Ausführung der Erfindung erläutert, ebenfalls für einen Rippenwellenleiter ohne Deckschicht. Hierbei sind die
- 25 Löcher L der Wellenleiterrippe in dem definierten Bereich B derart auf der Trägerschicht angeordnet, dass mehrere einzelne streifenförmige Wellenleiterteilrippen TWR jeweils mit einer Breite b gebildet werden. In der Ebene K_1 weist deren Abstand a zueinander den Wert 0 auf, so dass eine
- 30 kompakte Wellenleiterrippe WRK vorliegt. In dem definierten Bereich B weisen die Wellenleiterteilrippen TWR einen definierten Abstand a zueinander auf, der in Richtung auf die Koppelebene K_2 größer wird, bis in der

Koppelebene K_2 der Abstand a_K erreicht ist. Der maximale Abstand a_K der Wellenleiterteilrippen **TWR** wird so gewählt, dass die Wellenleiterteilrippen **TWR** optisch noch ausreichend gekoppelt sind.

- 5 Durch eine gezielte Variation der Breite **b** und des Abstandes **a** der Wellenleiterteilrippen **TWR** in dem Bereich **B** zwischen der kompakten Wellenleiterrippe **WRK** in der Ebene K_1 und der Koppelebene K_2 werden bei dieser Ausführung ebenfalls unterschiedliche effektive Brechzahlprofile entlang dieses Bereiches **B** realisiert. Auch hier ist durch eine gezielte Wahl
- 10 der Länge des definierten Bereiches **B**, der Anfangsbreite d_1 der kompakten Wellenleiterrippe **WRK**, der gesamten effektiven Breite d_2 der Wellenleiterrippe **WR** in der Koppelebene K_2 und der Tiefe der Schlitzes zwischen den Wellenleiterteilrippen **TWR** sowie durch eine gezielte Variation der Breite **b** und des Abstandes **a** der Wellenleiterteilrippen **TWR** eine optimale
- 15 und adiabatische Anpassung zwischen dem Halbleiterbauelement **HB** und der Faser **F** gewährleistet. Die Werte für die vorgenannten Größen können ebenfalls entweder numerisch nach bekannten Algorithmen bzw. empirisch in Abhängigkeit von der Wellenlänge des verwendeten Lichts ermittelt werden.
- 20 Die Fig. 3 stellt eine Abwandlung eines Modentransformators in der Ausführung der Erfindung gemäß Fig. 2 dar. In einem ersten Teilbereich des definierten Bereiches **B** zwischen der Ebene K_1 und einer Zwischenebene K_3 ist dieser Modentransformator identisch zur Ausführung gemäß Fig. 2 aufgebaut. In einem sich anschließenden zweiten Teilbereich zwischen der
- 25 Zwischenebene K_3 und der Koppelebene K_2 , ist rechts und links neben den ersten drei Wellenleiterteilrippen **TWR** jeweils eine weitere Wellenleiterteilrippe **TWR** in einem Abstand **a** angeordnet. Werden Breite **b** und Abstand **a** der Wellenleiterteilrippen **TWR** geeignet gewählt, kann die effektive Breite d_2 der Wellenleiterrippe **WR** in der Koppelebene K_2 einen
- 30 größeren Wert einnehmen wie im Falle eines kompakten Wellenleiterkernes, ohne dass es zu einer Mehrmodigkeit führt. Des weiteren ist denkbar, die Breite **b** und den Abstand **a** der einzelnen Wellenleiterteilrippen von Nachbar

zu Nachbar, senkrecht zur Wellenleiterachse nach außen gesehen, unterschiedlich auszugestalten. Damit kann zusätzlich auf die Form der Modenverteilung Einfluss genommen werden.

- 5 In Fig. 4 sind berechnete Intensitätsverteilungen in verschiedenen Querschnittebenen des Wellenleiters entlang des Bereiches **B** für einen erfindungsgemäßen Modentransformator mit folgendem Schichtaufbau dargestellt:

| | | |
|----|---------------------------|--|
| | Trägerschicht (Substrat): | InP |
| 10 | Brechzahl n_T : | 3,1645 (bei $\lambda_{\text{Licht}} = 1,55 \mu\text{m}$) |
| | Kernschicht | GaInAsP |
| | Brechzahl n_K : | 3,4890 (bei $\lambda_{\text{Licht}} = 1,55 \mu\text{m}$) |
| | Kernschichtdicke | 160 nm |
| | Rippe | InP |
| 15 | Rippendicke: | 2,0 μm |
| | Brechzahl n_D : | 3,1645 (bei $\lambda_{\text{Licht}} = 1,55 \mu\text{m}$). |

- In a) ist die Intensitätsverteilung für die Mode in der Ebene **K₁** gezeigt, d. h. an der Stelle des Wellenleiters **WL**, an der eine kompakte Wellenleiterrippe **WRK** mit einer Rippenbreite von 2,0 μm vorliegt. Eine Stoßkopplung mit einer typischen stumpfen Faser würde in der Ebene **K₁** allein durch die Fehlanpassung der Moden einen Intensitätsverlust von ca. 11,9 dB bewirken..

- In b) bis d) sind verschiedene Stadien der Modenaufweitung dargestellt, die sich durch die Aufteilung der Wellenleiterrippe in drei Wellenleiterteilrippen **TWR** der Breite **b** = 0,7 μm ergeben.

In b) beträgt der Abstand der Wellenleiterteilrippen **TWR** untereinander **a** = 0,3 μm .

- In c) hat sich der Abstand der Wellenleiterteilrippen **TWR** untereinander auf 30 **a** = 0,9 μm erhöht.

In d) wird die transformierte Mode in der Koppelebene K_2 dargestellt. Hier hat der Abstand der Wellenleiterteilrippen TWR untereinander seinen maximalen Wert $a_k = 1,4 \mu m$ erreicht.

- 5 Wird in der Koppelebene K_2 mit einer Konfiguration wie in d) mit einer typischen stumpfen Faser gekoppelt, so beträgt der Koppelverlust bei optimaler Justage nur noch ca. 2,3 dB, wobei von weiteren Verlusten, z.B. durch Absorption im Modentransformator, abgesehen wird. Das heißt der beschriebene Modentransformator kann die Kopplung um ca. 9,6 dB
10 verbessern.

- Es ist an dieser Stelle zu bedenken, dass eine völlige Anpassung an die Fasermode prinzipiell nicht möglich ist, da ein Rippenwellenleiter aufgrund seiner Architektur, bedingt durch die nach oben angrenzende Luft und das
15 nach unten angrenzende dicke Substrat, im Vergleich zur Faser mit ihrem rotationssymmetrischen Aufbau grundsätzlich eine niedrigere Symmetrie aufweist, die sich damit auch in einer unterschiedlichen Intensitätsverteilung wiederfindet.

Patentansprüche:

1. Integrierbarer Modentransformator zur Kopplung optischer Wellenleiter, bei dem die Wellenleiterkernschicht eines Rippenwellenleiters auf einer Trägerschicht angeordnet und darauf eine Rippe aufgesetzt ist, wobei der Brechungsindex der Wellenleiterkernschicht höher als der Brechungsindex der Trägerschicht sowie der Rippe ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Wellenleiterrippe (WR) in einem definierten Bereich (B) zwischen einer Ebene (K_1), in der eine kompakte Wellenleiterrippe (WRK) vorliegt, und einer Koppelebene (K_2) zu einem anderen Wellenleiter (F) eine Anordnung von Löchern (L) aufweist, deren laterale Abmessungen (d_x , d_y) einen bestimmten Wert nicht überschreiten und die derart angeordnet sind, dass deren Abstände (a_x , a_y) untereinander einen bestimmten Wert nicht unterschreiten, wobei die Verteilungsdichte der Löcher (L) von der Ebene (K_1) in Richtung auf die Koppelebene (K_2) zunimmt, indem deren Abstände (a_x , a_y) untereinander bis zu einem Minimalwert (a_k) abnehmen so dass durch eine definierte Einstellung der Verteilungsdichte der Löcher (L) im Bereich (B) die Intensitätsverteilung der Mode in der Koppelebene (K_2) gezielt einstellbar ist.

2. Integrierbarer Modentransformator nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Verteilungsdichte der Löcher (L) von der Ebene (K_1) bis zur Koppelebene (K_2) zum anderen Wellenleiter (F) derart zunimmt und/oder deren Abstände (a_x , a_y) zueinander derart abnehmen, so dass eine adiabatische Modentransformation realisierbar ist.

3. Integrierbarer Modentransformator nach den Ansprüchen 1 und 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

im Bereich (B) die lateralen Abmessungen (d_x , d_y) der Löcher (L) innerhalb der gegebenen Grenzen geeignet variiert werden.

4. Integrierbarer Modentransformator nach den Ansprüchen 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Bereich (B) die Tiefe der Löcher (L) bis in die Kernschichtabdeckung reicht.
5. Integrierbarer Modentransformator nach den Ansprüchen 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Bereich (B) die Tiefe der Löcher (L) bis in die Kernschicht reicht.
6. Integrierbarer Modentransformator nach den Ansprüchen 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
die gesamte effektive Breite (d) der mit den Löchern (L) versehenen Wellenleiterrippe (WR) von der Ebene (K_1) bis zur Koppelebene (K_2) kontinuierlich zunimmt.
7. Integrierbarer Modentransformator nach den Ansprüchen 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Bereich (B) in jedem Querschnitt senkrecht zur Wellenleiterachse die lateralen Abmessungen (d_x , d_y) der Löcher (L) und deren Abstände (a_x , a_y) untereinander nach außen hin gesehen innerhalb der gegebenen Grenzen geeignet variiert werden.
8. Integrierbarer Modentransformator nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Löcher (L) derart angeordnet sind, dass einzelne streifenförmige Wellenleiterteilrippen (TWR) mit einer Breite (b) gebildet werden, deren Abstand (a) zueinander in der Ebene (K_1) den Wert "0" aufweist, so dass eine kompakte Wellenleiterrippe (WRK) vorliegt, und der Abstand (a) der streifenförmigen Wellenleiterteilrippen (TWR) in Richtung auf die Koppelebene (K_2) zunimmt und in der Koppelebene (K_2) einen maximalen Abstand (a_K) aufweist, wobei durch eine definierte Einstellung der Breite (b) und des Abstandes (a) der Wellenleiterteilrippen (TWR) in dem Bereich (B), insbesondere auch in der Koppelebene (K_2), die Intensitätsverteilung der resultierenden Mode gezielt einstellbar ist.
9. Integrierbarer Modentransformator nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Breite (b) der einzelnen streifenförmigen Wellenleiterteilrippen (TWR) im Bereich (B) zwischen der Ebene (K_1) und der Koppelebene (K_2) variiert.

10. Integrierbarer Modentransformator nach den Ansprüchen 6 und 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die effektive Gesamtbreite (d) der aus streifenförmigen Wellenleiterteilrippen (TWR) gebildeten Wellenleiterrippe (WR) von der Ebene (K_1) bis zur Koppelebene (K_2) kontinuierlich zunimmt.
11. Integrierbarer Modentransformator nach den Ansprüchen 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Aufspaltung der kompakten Wellenleiterrippe (WRK) in mehrere Wellenleiterteilrippen (TWR) derart geschieht, dass mehrere Unterbereiche gebildet werden, die sich dadurch unterscheiden, dass die Zahl der Wellenleiterteilrippen (TWR) in Richtung auf die Koppelebene (K_2) gesehen zunimmt.
12. Integrierbarer Modentransformator nach den Ansprüchen 6 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
im Bereich (B) in jedem Querschnitt senkrecht zur Wellenleiterachse die Breite (b) und der Abstand (a) der einzelnen Wellenleiterteilrippen (TWR) nach außen hin gesehen innerhalb der gegebenen Grenzen geeignet variiert werden, um zusätzlich auf die Form der Modenverteilung Einfluss zu nehmen.

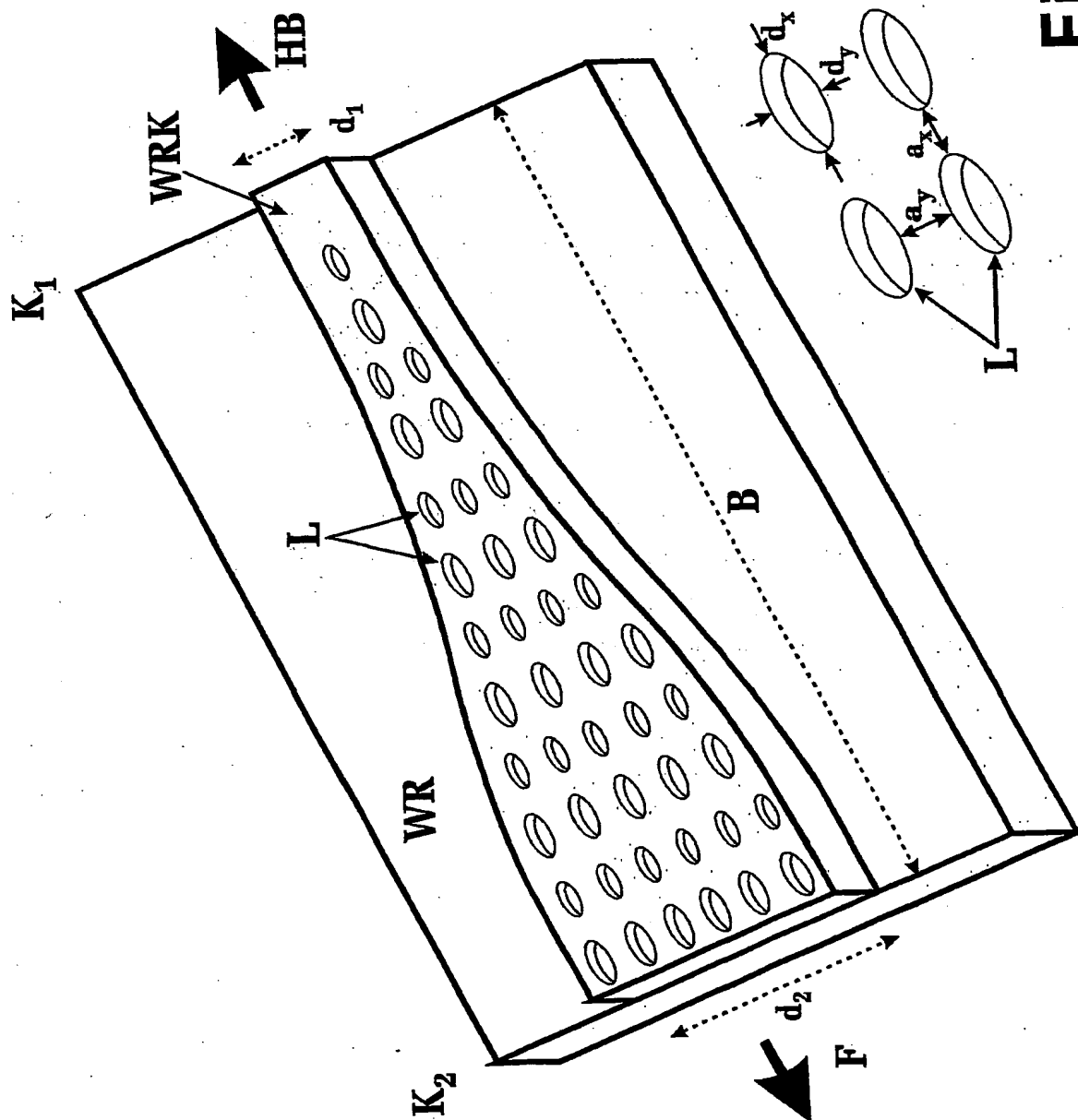


Fig. 1

2 / 4

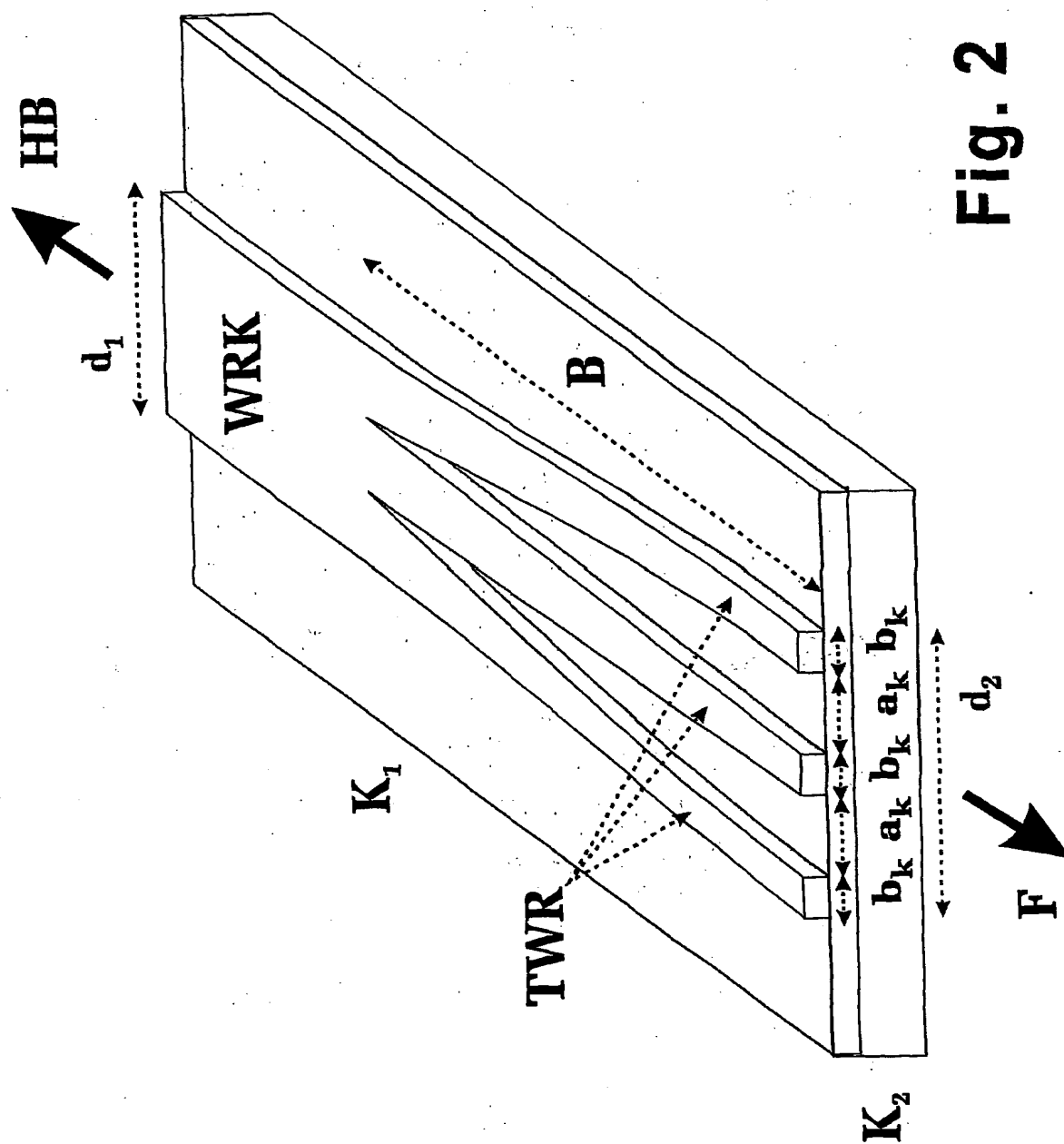


Fig. 2

3 / 4

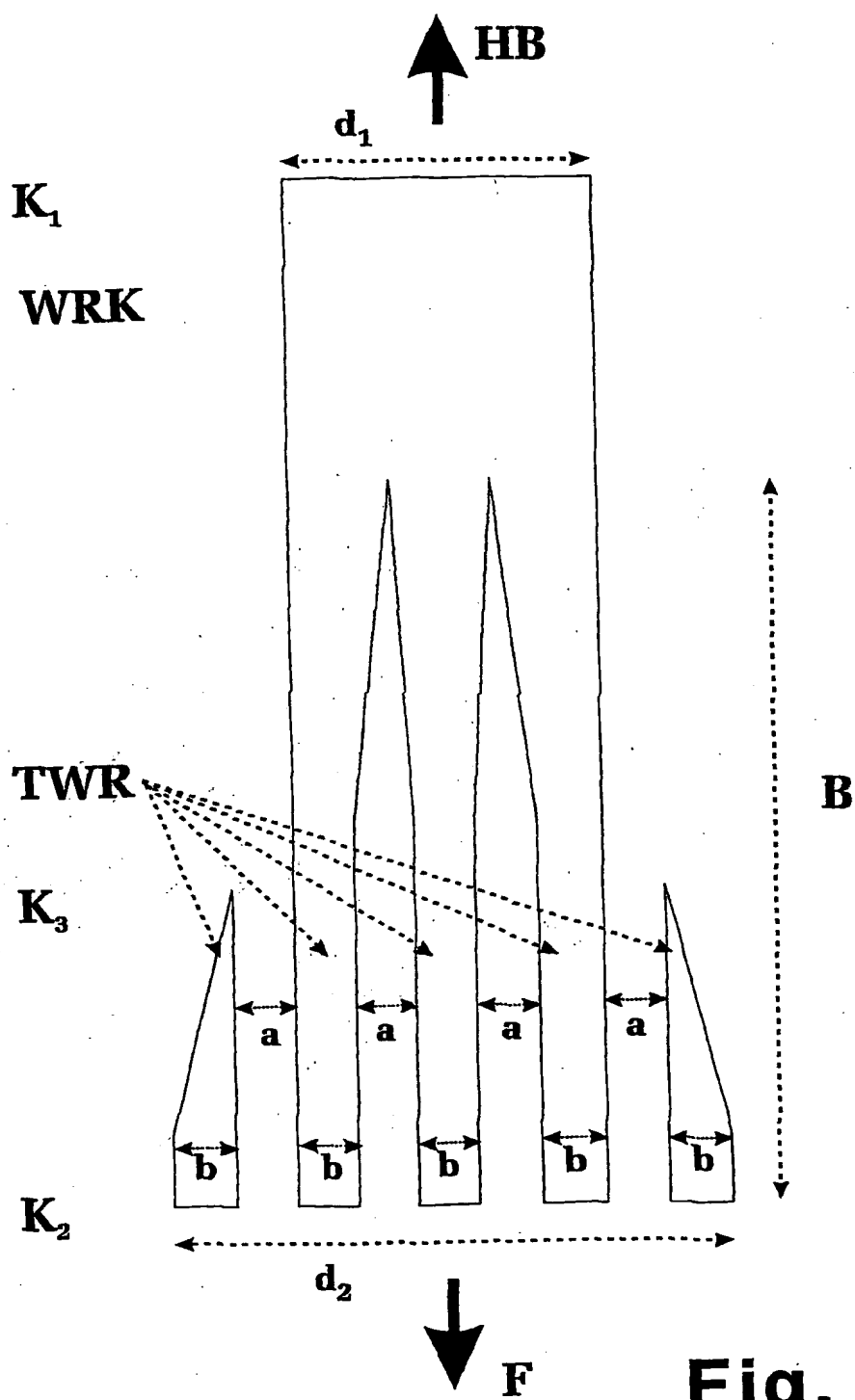
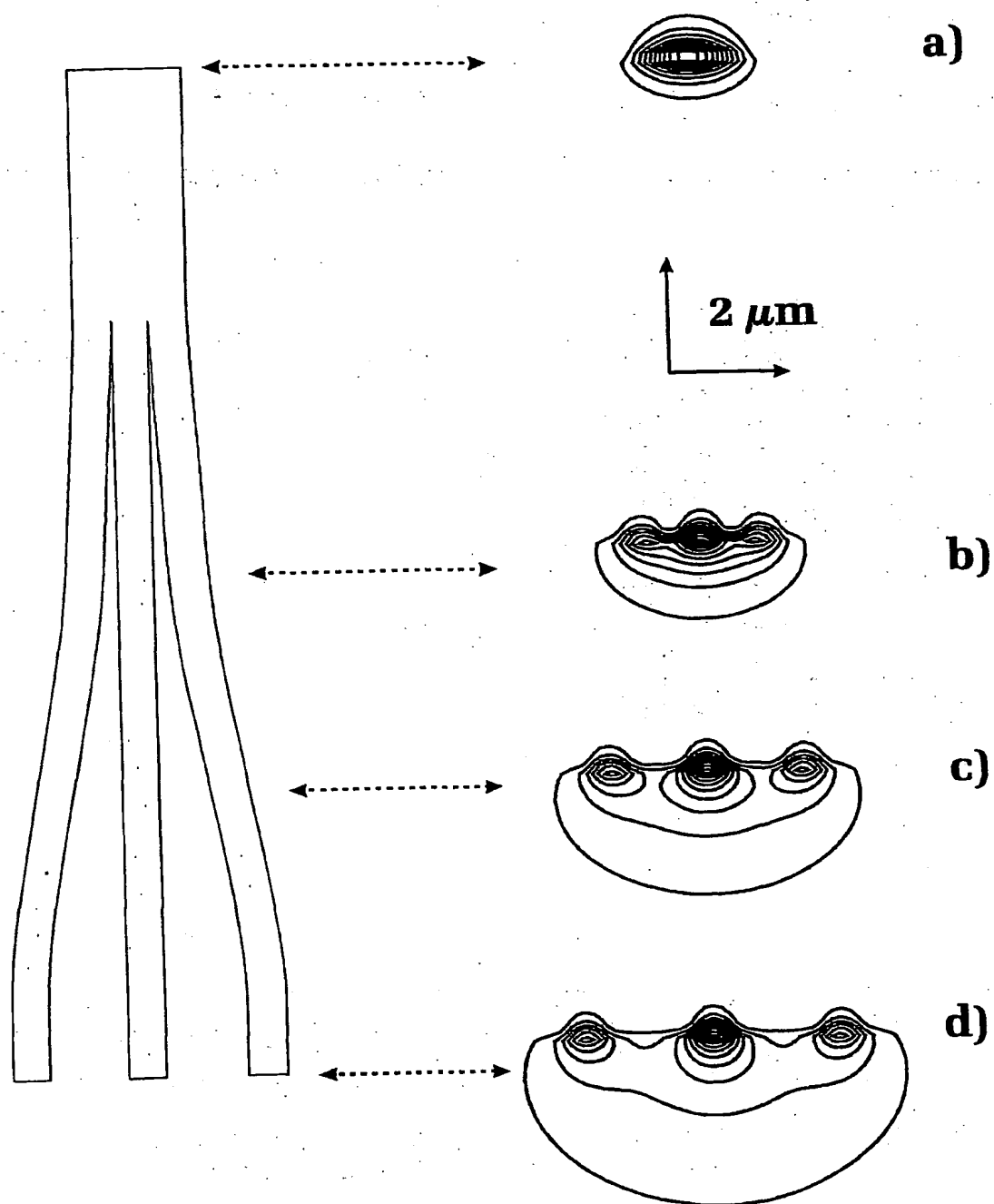


Fig. 3

4 / 4

**Fig. 4**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat Application No

PCT/DE 03/02689

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G02B6/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| Y | VEZETTI, D.J., MUNOWITZ, M.: "Design of Strip Loaded Optical Waveguides for Low-Loss Coupling to Optical Fibers" J.OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, XP002266281 page 581, left-hand column, line 15-19 page 581, right-hand column, line 1-5 | 1-7 |
| Y | WO 98 53351 A (CHARLTON MARTIN DAVID BRIAN ; BTG INT LTD (GB); PARKER GREGORY JASO) 26 November 1998 (1998-11-26) page 18, line 23-28; figures 41A, 44A page 15 -page 17 page 8, line 20 -page 9, line 5 page 23, line 13-25 --- -/- | 1-12 |



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 January 2004

Date of mailing of the international search report

27/01/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Yenidunya, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internati Application No
PCT/DE 03/02689

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|---|-----------------------|
| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| Y | <p>WO 02 29905 A (CHOI MIN HO ;CHUN HONG JUN (KR); KO HAN JUN (KR); YOON EUI SIK (KR) 11 April 2002 (2002-04-11) page 6, line 10-15; figure 4 page 7, line 16,17</p> | 8-12 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/02689

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| WO 9853351 | A | 26-11-1998 | AU 751846 B2 | 29-08-2002 |
| | | | AU 7442798 A | 11-12-1998 |
| | | | EP 0981771 A2 | 01-03-2000 |
| | | | WO 9853351 A2 | 26-11-1998 |
| | | | JP 2002511952 T | 16-04-2002 |
| | | | US 2003002773 A1 | 02-01-2003 |
| | | | US 2003174940 A1 | 18-09-2003 |
| | | | US 2003228096 A1 | 11-12-2003 |
| | | | US 6640034 B1 | 28-10-2003 |
| WO 0229905 | A | 11-04-2002 | KR 2002028069 A | 16-04-2002 |
| | | | AU 9243001 A | 15-04-2002 |
| | | | WO 0229905 A1 | 11-04-2002 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02689

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G02B6/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| Y | VEZETTI, D.J., MUNOWITZ, M.: "Design of Strip Loaded Optical Waveguides for Low-Loss Coupling to Optical Fibers" J.OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, XP002266281 Seite 581, linke Spalte, Zeile 15-19 Seite 581, rechte Spalte, Zeile 1-5 | 1-7 |
| Y | WO 98 53351 A (CHARLTON MARTIN DAVID BRIAN ; BTG INT LTD (GB); PARKER GREGORY JASO) 26. November 1998 (1998-11-26) Seite 18, Zeile 23-28; Abbildungen 41A, 44A Seite 15 - Seite 17 Seite 8, Zeile 20 - Seite 9, Zeile 5 Seite 23, Zeile 13-25 -/- | 1-12 |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

8. Januar 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

27/01/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Yenidunya, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02689

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| Y | <p>WO 02 29905 A (CHOI MIN HO ; CHUN HONG JUN (KR); KO HAN JUN (KR); YOON EUI SIK (KR) 11. April 2002 (2002-04-11) Seite 6, Zeile 10-15; Abbildung 4 Seite 7, Zeile 16,17</p> <p>-----</p> | 8-12 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02689

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| WO 9853351 A | 26-11-1998 | AU 751846 B2 | 29-08-2002 |
| | | AU 7442798 A | 11-12-1998 |
| | | EP 0981771 A2 | 01-03-2000 |
| | | WO 9853351 A2 | 26-11-1998 |
| | | JP 2002511952 T | 16-04-2002 |
| | | US 2003002773 A1 | 02-01-2003 |
| | | US 2003174940 A1 | 18-09-2003 |
| | | US 2003228096 A1 | 11-12-2003 |
| WO 0229905 A | 11-04-2002 | US 6640034 B1 | 28-10-2003 |
| | | KR 2002028069 A | 16-04-2002 |
| | | AU 9243001 A | 15-04-2002 |
| | | WO 0229905 A1 | 11-04-2002 |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.